动 物 学 研 究 2013，Oct. 34(5): 475−478 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research DOI:10.11813/j.issn.0254-5853.2013.5.0475

光谱分析揭示红耳龟（*Trachemys scripta*）体色的两性异形

汪继超，杨灿朝，梁 伟，史海涛*

海南师范大学 生命科学学院，热带动植物生态学省部共建教育部重点实验室，海南 海口 571158

摘要：经光谱测量及构建可视化模型，该文表明红耳龟（*Trachemys scripta*）体色存在性二态，雌、雄体色的紫外光色调差异显著。体色光谱与身体质量的相关性分析表明，雄性前肢可见光色调与其质量显著相关，而雌性个体各测量部位体色光谱与身体质量均不存在相关性，提示红耳龟可能通过体色的紫外光色调差异来识别性别乃至个体差异。该研究结果有助于了解红耳龟的雌雄二态性和性选择行为。

关键词：红耳龟；紫外光；可视化模型；性别二态型；性选择

中图分类号：Q959.6+3 **文献标志码**：A **文章编号**：0254-5853-(2013)05-0475-04

Spectra analysis reveals the sexual dichromatism of red-eared slider turtle（*Trachemys scripta*）

Ji-Chao WANG, Can-Chao YANG, Wei LIANG, Hai-Tao SHI*

Ministry of Education Key Laboratory for Tropical Plant and Animal Ecology, College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158, *China*

Abstract: In this study, spectra analysis was conducted to investigate the sexual dichromatism and relationship between body color and quality of the red-eared slider turtle (*Trachemys scripta*). Visual modeling revealed that the differences of the hues of body colors' ultraviolet (UV) components between male and female were significant. Moreover, the visible（VIS）components of the hues of forelimbs were correlated with body qualities of male but not of female. Our results indicated that UV might act as a signal for sexual cognition in red-eared slider turtles, and female might evaluate male by the VIS components of the hues of forelimbs. These findings provided preliminary results and perspectives to the sexual dichromatism and sexual selection behaviors of red-eared slider turtles.

Keywords: Ultraviolet; Sexual selection; Spectrophotometer; Body color; Tetrachromatic

来源于类胡萝卜素的天然动物颜色，被认为在动物的性炫耀等信息传递中起着专性而重要的作用（Martín & López, 2009）。爬行动物的红色、橙色和黄色来源于两种类型的色素，即蝶呤和类胡萝卜素（Macedonia et al, 2000; Ortiz et al, 1962）。爬行动物有 3 种用于产生色素的重要细胞层，最靠近表皮的为能产生黄色或橙色的黄色素细胞层，中间层为用于产生结构色的闪光细胞，最内层的载黑素细胞则负责产生黑色素，爬行类身体大量而深沉的颜色即由此层产生（Baegnara & Hadley, 1973; Morrison et al, 1995）。

许多爬行动物具有性别二态性，雄性进化出鲜艳的颜色，用于种内信息传递，如雄性间的资源领域竞争和与雌性交配权的争夺等（Hamilton & Sullivan, 2005; Salvador et al, 2008; Whiting et al, 2006）。有研究表明，绿蜥（*Lacerta viridis*）的体色饱和度随着被寄生虫感染程度的升高而降低（Václav et al, 2007），即体色能够反映雄性的质量，可作为雌性选择雄性的可靠标准。最新研究也表明，雄性体色的变异与其形态、健康状态、统治地位和配对状态呈相关性（Martín & López, 2009）。然而，目前，对龟类的相关研究甚少。另外，包括龟类在内的许多爬行动物均具有四面体颜色视觉，其中包含人眼无法探测的紫外光部分（Ventura et

收稿日期：2012-10-23；接受日期：2013-02-05

基金项目：国家自然科学基金（30910103916）；教育部新世纪优秀人才支持计划（NCET-10-0111）

*通信作者（Corresponding author)，E-mail: haitao-shi@263.net

第一作者简介：汪继超，男，博士、副教授，研究方向为两栖爬行动物生态与保护生物学

al, 1999; Honkavaara et al, 2002），这就使得有些在人眼看来为性别单态型的种类，实际上可能存在体色的两性差异。

红耳龟（*Trachemys scripta*）隶属龟鳖目（Chelonia）泽龟科（Emydidae）滑龟属（*Trachemys*），是全世界最危险的 100 个入侵物种之一（Shi et al, 2009）。之前有研究表明，红耳龟雌雄个体大小存在一定差异（Gibbons & Lovich, 1990），但其体色的性别差异人眼则无法区分。本文采用光纤光谱仪对红耳龟的体色进行量化，并构建可视化模型，模拟动物视觉对颜色进行分析，比较红耳龟体色的性别差异，并研究体色与其质量的相关性。

1 材料与方法

采用 Avaspec-2048 USB2 型光谱仪（Avantes，荷兰）对红耳龟的体色进行测量，配套一个 Avalight-Hal-S 卤钨灯光源、反射探头（FCR-7UV200-2-ME）和探头固定器（RPH-1），光谱仪参数设定和操作详见 Yang et al（2011）。选取龟头部和前肢为测量部位，即雄龟向雌龟展示的部位，包括头部红色斑块、黄色条纹及褐绿色斑纹与前肢黄色条纹及褐绿色斑纹。每个测量部位均于身体两侧各随机选取测量点一个，数据分析时以两点平均值代表各部位光谱。用 Ava-Soft7.0 对测量数据进行提取和转化，所提取的光谱范围为 300~700 nm，包括紫外光（300~400 nm）、蓝色光（400~475 nm）、绿色光（475~550 nm）、黄色光（550~625 nm）和红色光（625~700 nm）。四面体可视化模型构建采用编程软件 Matlab7.0，其中，四面体的四个角代表动物视细胞对紫外光、短波光、中波光和长波光的敏感程度。对各测量部位的色调（分为可见光和紫外光）、色度（色彩饱和度）和非彩色亮度进行计算，详见 Yang et al（2012）。

为研究龟体色与其质量的相关性，我们对其身体特征进行测量（以体重和体积参数表示），包括体重、体高、背甲长度、背甲宽度和腹甲长度等，体积=（背甲长度+腹甲长度）/2×体高×背甲宽度。由于数据符合正态分布，雌雄龟性别之间的体色光谱比较用 MANOVA 检验，龟身体质量与体色光谱的相关性用 Pearson 相关进行分析，数据处理在 SPSS 13.0 上进行，结果表示为 mean±*SD*，所有检验均为双尾检验（two-tailed test）。

2 结 果

共计测量红耳龟 12 只，雄雌各半。雌雄个体各测量部位的平均反射光谱见图 1，头部和前肢的黄色条纹具有相似的波形，且波峰均位于~500 nm，即黄色条纹在色调上更偏向绿色。头部和前肢的褐绿色斑纹也具有相似的波形，波峰均位于 475 nm，且曲线总体反射较低，表明红耳龟的主要体色为暗绿色。头部红色斑点的反射曲线具两个高峰，分别位于中波光及长波光区域，且曲线反射比低，表明斑点颜色为暗橙色。雌性各测量部位的反射曲线总体略高于雄性，表明雌龟的亮度略高于雄龟，但统计差异不显著（表 1）。在 300~400 nm 的紫外线区段，雌性个体的各测量部位均在~372 nm 具一高峰。

可视化模型计算结果见表 1，雌性和雄性体色仅在紫外光色调上存在极显著差异（$F_{1,5}$=9.922, *P*=0.003, MANOVA）。Pearson 相关性分析表明，雄性的体重和体积分别与前肢黄色条纹的可见光色调呈显著和极显著负相关（*r*=–0.887, *P*=0.018; *r*=–0.928, *P*=0.008），而雌性体重和体积与各测量部位的体色光谱均不存在相关性。

表 1 红耳龟雌雄个体的体色光谱对比

Table 1 Comparison of skin color between male and female slider turtles *Trachemys scripta*

	性别 Sex	*n*	Mean±*SD*	最小值 Minimum	最大值 Maximum
色调（可见光）	雌 Female	6	1.692±0.586	0.593	2.351
Hue（VIS）	雄 Male	6	1.218±1.383	–1.340	2.252
色调（紫外光）	雌 Female	6	–0.188±0.165	–0.408	0.004
Hue（UV）	雄 Male	6	–0.428±0.156	–0.592	–0.194
色度 Chroma	雌 Female	6	0.078±0.008	0.066	0.089
	雄 Male	6	0.085±0.014	0.070	0.107
亮度 Brilliance	雌 Female	6	0.551±0.118	0.370	0.654
	雄 Male	6	0.510±0.128	0.311	0.650

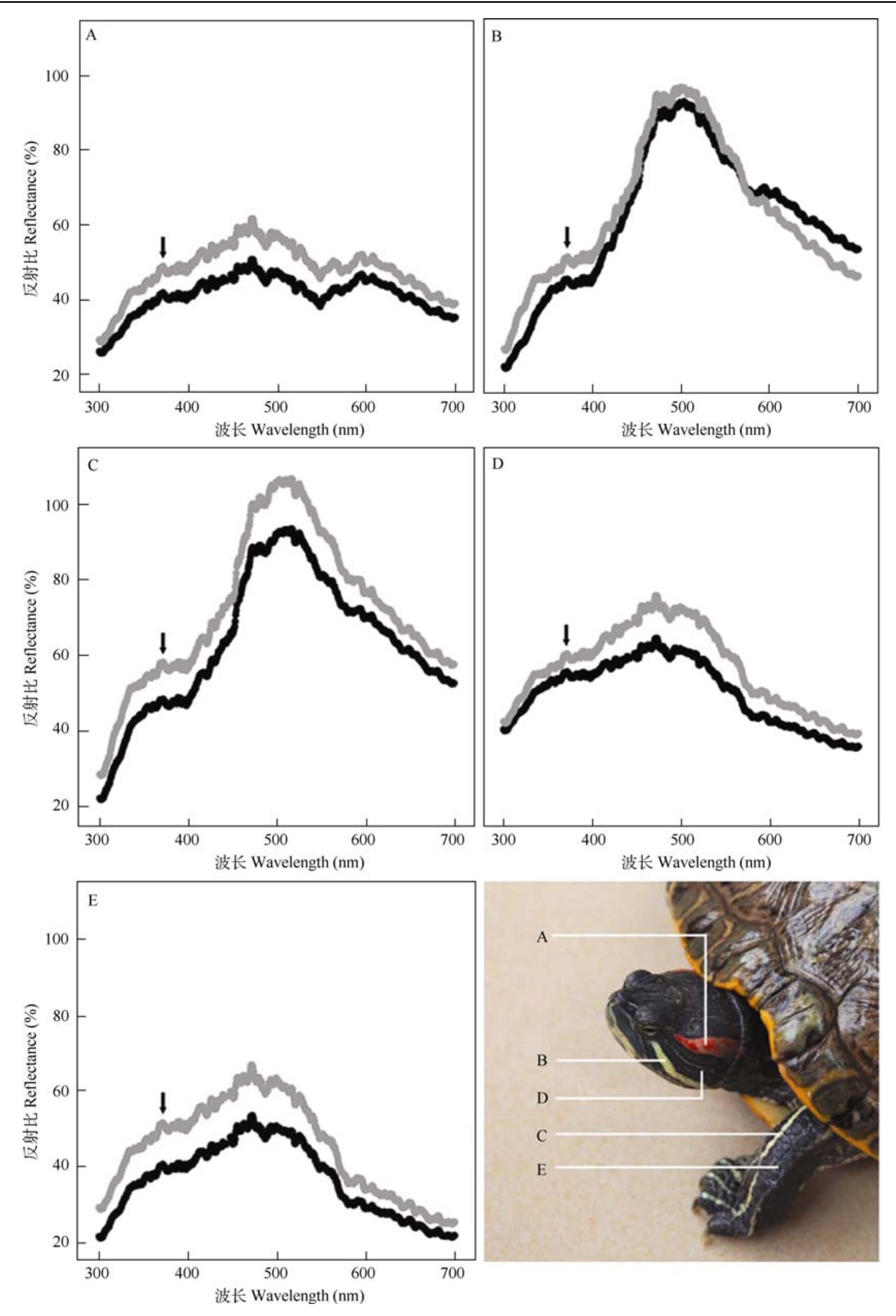


图 1　红耳龟雌雄个体的体色反射光谱

Figure 1　Body color reflectance of male and female slider turtles *Trachemys scripta*

灰色：雌性；黑色：雄性；箭头：波长 372 nm 部位的波峰；A：头部红色斑点； B：头部黄色条纹；C：前肢黄色条纹；D：头部褐绿色斑纹；E：前肢褐绿色斑纹。

Grey: female; Black: male; Arrowhead: 372 nm peak; A: red patch of head; B: yellow streak of head; C: yellow streak of forelimb; D: brown green color of head; E: brown green color of forelimb.

3 讨 论

许多龟类的眼睛视网膜对＜400 nm 的紫外光敏感（Ventura et al, 1999）。本探究结果表明红耳龟体色光谱在紫外光 372 nm 区域具有波峰，与其视网膜敏感峰值吻合，且雌雄个体体色在紫外光色调上存在显著差异，暗示红耳龟极有可能通过紫外光色调进行性别甚至个体的识别。

雌性红耳龟体色光谱与身体质量间不存在相关性，而雄性质量则与其前肢黄色条纹的可见光色调存在极显著相关性，表明雄性体色对展现其质量具有一定作用。决定红耳龟体色的重要色素类，胡萝卜素，为抗氧化剂，在生命活动和新陈代谢中具重要作用，决定个体的免疫系统质量（Burton, 1989; Krinsky，1993）。因此，向雌性展示鲜艳的体色，是雄性获得配偶和抵抗疾病之间的权衡，也是性选择中表现雄性质量的可靠标准（Alonso-Alvarez et al, 2004; Hoekstra, 2006; Hubbard et al, 2010）。我们的结果暗示雌性红耳龟可能对雄性前肢黄色条纹的可见光色调差异具有性选择偏好。

对于爬行动物体色的研究集中在蜥蜴类，龟类则相对甚少。据我们所知，本文为利用光谱分析和可视化模型，针对龟类体色所进行的首例报道。红耳龟具有背甲和腹甲，且头与肢体都能缩入其中的特点，为无损伤性体色光谱测量带来了很大的困难。本研究有助于我们了解红耳龟的雌雄二态性和性选择行为。

参考文献：

Alonso-Alvarez C, Bertrand S, Devevey G, Gaillard M, Prost J, Faivre B, Sorci G. 2004. An experimental test of the does-dependent effect of carotenoids and immune activation on sexual signals and antioxidant activity. *The American Naturalist,* **164**: 651-659.

Bagnara JT, Hadley ME. 1973. Chromatophores and Color Change: The Comparative Physiology of Animal Pigmentation. New Jersey: Prentice-Hall.

Burton GW. 1989. Antioxidant action of carotenoids. *Journal of Nutrition,* **119**: 109-111.

Gibbons JW, Lovich JE. 1990. Sexual dimorphism in turtles with emphasis on the slider turtle（*Trachemys scripta*）. *Herpetological Monographs,* **4**: 1-29.

Hamilton PS, Sullivan BK. 2005. Female mate attraction in ornate tree lizards, *Urosaurus ornatus*: a multivariate analysis. *Animal Behaviour,* **69**（1）: 219-224.

Hoekstra HE. 2006. Genetics, development and evolution of adaptive pigmentation in vertebrates. *Heredity,* **97**（3）: 222-234.

Honkavaara J, Koivula M, Korpimäki E, Siitari H, Viitala J. 2002. Ultraviolet vision and foraging in terrestrial vertebrates. *Oikos,* **98**（3）: 505-511.

Hubbard JK, Uy JAC, Hauber ME, Hoekstra HE, Safran RJ. 2010. Vertebrate pigmentation: from underlying genes to adaptive function. *Trends in Genetics,* **26**（5）: 231-239.

Krinsky NI. 1993. Action of carotenoids in biological systems. *Annual Review of Nutrition,* **13**（1）: 561-587.

Macedonia JM, James S, Wittle LW, Clark DL. 2000. Skin pigments and coloration in the Jamaican radiation of *Anolis* lizards. *Journal of Herpetology,* **34**（1）: 99-109.

Martín J, López P. 2009. Multiple color signals may reveal multiple messages in male Schreiber's green lizards, *Lacerta schreiberi*. *Behavioral Ecology and Sociobiology,* **63**（12）: 1743-1755.

Morrison RL, Rand MS, Frost-Mason SK. 1995. Cellular basis of color differences in three morphs of the lizard *Sceloporus undulatus erythrocheilus*. *Copeia,* **1995**（2）: 397-408.

Ortiz E. 1962. Drosopterins in the dewlap of some anoline lizards. *American Zoologist,* **2**: 545-546.

Salvador A, Díaz JA, Veiga JP, Bloor P, Brown RP. 2008. Correlates of reproductive success in male lizards of the alpine species *Iberolacerta cyreni*. *Behavioral Ecology,* **19**（1）: 169-176.

Shi HT, Gong SP, Liang W, Hong ML, Fu LR, Wang JC. 2009. Control of the alien species slider turtles *Trachemys scripta* in China. *Bulletin of Biology,* **44**（4）: 1-3. [史海涛, 龚世平, 梁伟, 洪美玲, 傅丽容, 汪继超. 2009. 控制外来物种红耳龟在中国野生环境蔓延的态势. 生物学通报, **44**（4）: 1-3.]

Václav R, Prokop P, Fekiac V. 2007. Expression of breeding coloration in European green lizards（*Lacerta viridis*）: variation with morphology and tick infestation. *Canadian Journal of Zoology,* **85**（12）: 1199-1206.

Ventura DF, Souza De JM, Devoe RD, Zana Y. 1999. UV responses in the retina of the turtle. *Visual Neuroscience,* **16**（2）: 191-204.

Whiting MJ, Stuart-Fox D, O'Connor D, Firth D, Bennett NC, Blomberg SP. 2006. Ultraviolet signals ultra-aggression in a lizard. *Animal Behaviour,* **72**（2）: 353-363.

Yang C, Antonov A, Cai Y, Stokke BG, Moksnes A, Røskaft E, Liang W. 2012. Large hawk-cuckoo *Hierococcyx sparverioides* parasitism on the Chinese babax *Babax lanceolatus* may be an evolutionarily recent host-parasite system. *Ibis,* **154**（1）: 200-204.

Yang C, Cai Y, Liang W. 2011. Visual modeling reveals cryptic aspect in egg mimicry of Himalayan cuckoo（*Cuculus saturatus*）on its host Blyth's leaf warbler（*Phylloscopus reguloides*）. *Zoological Research,* **32**（4）: 451-455.